
FORMATO DOCUMENTO FINAL

AUTORES	TUTOR
Michael Steven Lozano Rodríguez Daniel Humberto Cadena Martínez	Dayro Arley Torres Vargas

1. TÍTULO

EVALUACIÓN DE RIESGO POR INUNDACIÓN EN ZONAS COLINDANTES AL RÍO
MAGDALENA EN EL MUNICIPIO DE GIRARDOT

2. INTRODUCCIÓN

La amenaza de inundación es una de las problemáticas más recurrentes en el país debido a la intensificación de las lluvias en época de invierno, las cuales aumentan el nivel del cauce de un cuerpo de agua (IDEAM, 2014). La ciudad de Girardot-Cundinamarca cuenta con uno de los ríos más importantes a nivel nacional y es la macro cuenca del Río Magdalena la cual en temporada de lluvias suele subir sus niveles e inundar las zonas aledañas a él.

La Corporación Prodesarrollo tiene como tarea de asegurar y garantizar el bienestar y mejoramiento de las condiciones de vida de la comunidad Girardoteña y la región, mediante el desempeño, la elaboración y adaptación de políticas, planes, programas y proyectos, concertados dentro de un contexto interinstitucional con vinculación decidida de los sectores públicos, privados, comunitarios y de la sociedad en general, en torno a la responsabilidad ambiental, el conocimiento y la reducción del riesgo y el manejo de desastres, asignando para ello recursos con criterios de prioridad, equidad, solidaridad que propicien una cultura de prevención que conduzca a un desarrollo humano sostenible (Prodesarrollo, 2018).

El presente proyecto tiene como finalidad analizar mediante los Sistemas de Información Geográfica el nivel de riesgo por inundación a los que pueden estar expuestos los barrios que

colindan con el río Magdalena en el municipio de Girardot. Para ello, se recopilará información de los entes oficiales de información climatológica (IDEAM), catastral y cartográfica (IGAC) y demás información espacial que sea de utilidad para la realización de los mapas de amenaza por inundación, vulnerabilidad y riesgo por inundación.

Es importante resaltar el papel de la ingeniería ambiental con el uso de sistemas de información geográfica debido a que es una herramienta capaz de simular y analizar datos asociados a elementos territoriales como los ríos, intervalos de temperatura, zonas boscosas, carreteras, distribución de espacios naturales, ciudades (ISM, 2019). Los datos simulados sirven como base para la toma de decisiones hacia el bien de la comunidad y el medio ambiente. Esto también es pilar determinante en la gestión del riesgo a razón de que la utilización de los satélites en la prevención y la planificación contra los desastres naturales se lleva realizando desde hace décadas, pero el uso de los SIG ha mejorado la detección y gestión de catástrofes naturales gracias a los muchos avances tecnológicos que se han conseguido en los últimos tiempos (García, 2017).

Dicho esto, se resalta la importancia que cobra este proyecto, pues será el punto de partida para que la corporación Prodesarrollo diseñe un sistema de alerta temprana en estos barrios de Girardot que están expuestos a fenómenos de inundación.

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las inundaciones son fenómenos hidrológicos recurrentes y se producen por lluvias persistentes en un área, lo cual generan un aumento progresivo del nivel del agua contenido dentro de un cauce, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las zonas aledañas a los cursos de agua. (IDEAM, 2014). En Colombia cada año las inundaciones producen mayores desastres porque el hombre deteriora progresivamente las cuencas y cauces de

los ríos y quebradas, deposita en ellos basura, tapona drenajes naturales limitando las ciénagas, aumenta la erosión con talas y quemas, y habita u ocupa lugares propensos a inundaciones. La cantidad de agua que llueve cada año en el país es aproximadamente igual, pero por las razones antes expuestas los daños que producen son cada vez mayores (UNGRD, 2014). Girardot se encuentra ubicado en el departamento de Cundinamarca y en el atraviesa la cuenca del río Magdalena, la cual en temporadas de lluvia suele subir su nivel de agua ocasionando daños a los habitantes que viven a orillas de él, es por esto que es de suma importancia la realización de un mapa de riesgo de inundación para poder observar las zonas más susceptibles a una inundación y con ello los entes gubernamentales de municipio tomen decisiones para el bienestar de las comunidades más afectadas. Además de ello también se utilizaría como referente para estudios de investigación y educación ambiental a las comunidades.

4. OBJETIVOS

Objetivo general. Analizar mediante los Sistemas de Información Geográfica el nivel de riesgo por inundación a los que pueden estar expuestos los barrios que colindan con el río Magdalena en el municipio de Girardot.

Objetivos específicos:

- a) Determinar el nivel de amenaza por inundación del municipio de Girardot.
- b) Establecer la vulnerabilidad que posee el municipio de Girardot ante fenómenos naturales como inundaciones o remociones en masa.
- c) Obtener el nivel de riesgo por inundación para todo el municipio de Girardot enfatizando en los barrios de la comuna 2 que se encuentran ubicados en la ronda hídrica del río Magdalena.

5. MARCO NORMATIVO.

A continuación, se menciona la principal normativa de orden nacional que reglamenta y orienta la gestión del riesgo:

La ley 388 de 1997 menciona en el artículo 10 los determinantes de los planes de ordenamiento territorial, en el cual se resalta que se debe contar en el POT con las políticas, directrices y regulaciones sobre prevención de amenazas de riesgos naturales, el señalamiento y localización de las áreas de riesgo para asentamientos humanos, así como las estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas y riesgos naturales (Ley 388, 1997).

En la ley 1523 de 2012 en el artículo 2 se habla que la gestión del riesgo es responsabilidad de todas las autoridades y de los habitantes del territorio colombiano, en cumplimiento de esta responsabilidad las entidades desarrollaran y ejecutaran todos los procesos de gestión del riesgo. Además de ello en esta misma ley se establece en los artículos 39,40 y 41 se señala la integración e incorporación de la gestión del riesgo en la planificación territorial, lo cual tendrán organismos de planificación nacionales, regionales, departamentales, distritales y municipales que seguirán las orientaciones y directrices señalados en el plan nacional de gestión del riesgo (Ley 1523, 2012).

En el decreto ley 019 de 2012 determina en el artículo 189 que se debe incorporar a la gestión del riesgo en la revisión de planes de ordenamiento territorial por lo cual se debe verificar que se realice la delimitación y zonificación de las áreas de amenaza y de riesgo, además de la determinación de las medidas específicas de mitigación (Decreto-Ley 019, 2012).

6. DISEÑO METODOLÓGICO

Mapa de amenaza por inundación

Entendiendo que la amenaza es el peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una gravedad suficiente a las personas, bienes, prestación de servicios y los recursos ambientales (Ley 1523, 2012). Es por esto que se tuvo en cuenta la metodología adoptada de una tesis de la universidad de Cundinamarca dirigida en la temática de zonificación de riesgo por fenómenos amenazantes del año 2019, para realizar el mapa de amenaza por inundación del municipio de Girardot con las siguientes 5 variables:

Pendientes

Se realizó con base en el DEM (modelo digital de elevación) de Girardot obtenido del Servicio Geológico De los Estados Unidos (USGS) al cual se le aplicaron las siguientes herramientas:

- Spatial analyst tools/surface /slope (ingresa el dem) para generar las pendientes.
- Se aplicó una reclasificación en la capa obtenida a través de la herramienta spatial analyst tools /reclass /reclassify, adoptando los valores establecidos por la FAO.

Rango (%)	Unidad	Valor
0 – 7	Muy alta.	5
7 – 25	Alta.	4
25 – 50	Media.	3
50 – 75	Baja.	2
<75	Muy baja.	1

Fuente: FAO, 2009

- Usando la herramienta conversion tools / from raster /raster to polygon, se convirtió el archivo raster reclasificado a polígono.
- Se hizo un clip con la capa del polígono y la capa del municipio de Girardot.

Geomorfología

A través del programa Arcgis se seleccionó la capa del estudio de suelos del departamento de Cundinamarca obtenida del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) a escala 1:25.000, aplicando las siguientes herramientas y teniendo en cuenta los siguientes atributos:

- Se cargaron la capa de suelos y la capa del municipio de Girardot para utilizar la herramienta geoprocessing / clip y realizar el corte de la zona de interés.
- Se añadió en la tabla de atributos un nuevo campo con el nombre de calificación de geomorfología.
- Se realizó la calificación según la siguiente tabla:

Sb unidad Geomorfológica	Calificación	Calificación de la Amenaza
Promontorios de desechos de cantera		
Ladera estructural de sierra homoclinal denudada	1	Muy Bajo
Cerros residuales		
Canteras		
Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal		
Ladera estructural denudada y residual	2	Bajo
Conos de talus		
Comisas estructurales		
Escarpe de línea de falla		
Ladera de contrapendiente estructural		
Laderas estructurales anticlinales		
Cono de deslizamiento traslacional antiguo		
Cono de deslizamiento traslacional reciente	3	Moderado
Planchas estructurales denudadas		
Conos y lóbulos coluviales y solifluxio		
Planicies y deltas lacustrinos		
Conos de deyección	4	Alto
Planicies o llanuras de inundación		
Meandros abandonados	5	Muy Alto
Cuencas de decantación fluvial		

Fuente: Monroy, Y & Prada, A. 2019

Importante: se realizó la calificación en base al tipo de relieve dándole un valor de 1 a 5 según entre más empinado el terreno menor calificación y los terrenos más planos mayor valor.

Litología

A través del programa Arcgis se seleccionó la capa del estudio de suelos del departamento de Cundinamarca obtenida del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) a escala 1:25.000, aplicando las siguientes herramientas y teniendo en cuenta los siguientes atributos:

- Se cargaron la capa de suelos y la capa del municipio de Girardot para utilizar la herramienta geoprocessing / clip y realizar el corte de la zona de interés.
- Se añadió en la tabla de atributos un nuevo campo con el nombre de calificación de litología.
- Se realizó la calificación según la siguiente tabla:

Litología	Geología	Permeabilidad	Calificación de la Amenaza	Calificación
Arsénicas: Sedimentos Clásticos de grado medio a grueso de composición cuarzosa y ocasionalmente subarcosica, estratificadas en capas delgadas a muy gruesas	Rocas Intermedias	Semi permeable	1	Muy Bajo
	Rocas duras	Semi permeable	2	Bajo
Gravas y Arenas: Sedimentos clásticos, con partículas de tamaño variado y de composición heterogénea e intercalaciones de limo y arcillas	Suelos Residuales	Semi permeable	3	Medio
Aluviales y lacustres: Depósitos composición heterogénea y tamaño heterométrico de formas subredondeada a redondeada en matriz arenolimsa con niveles de arenas, limos y arcillas	Suelos Transportados	Impermeable	4	Alto
Coluviales: Materiales de composición heterogénea tamaño y forma en general angular, con matriz arenolimsa y limo arcillosa	Suelos Coluviales	Impermeable	5	Muy Alto

Fuente: Monrov. Y & Prada. A. 2019

Importante: se realizó la calificación en base al tipo de litología, característica y característica-1 dándole valores de 1 a 5. Los suelos que más drenados estén tendrán una calificación de 1 y en donde sean pobremente drenados tendrá una calificación de 5.

Precipitación

Se realizó en base a datos de precipitación media mensual de Girardot y municipios aledaños de los últimos 10 años solicitados al IDEAM y se promediaron para obtener la media anual. Seguidamente, se procedió a cargar los datos en ArcGIS para usar la herramienta de interpolación IDW con el fin de generar un archivo raster con los datos anuales de precipitación. Una vez obtenido este archivo se realizó lo siguiente:

- Se aplicó una nueva herramienta (spatial analyst tools /reclass /reclassify), en la capa de precipitación.
- Se reclasificó según los valores dados por el IDEAM:

Precipitacion (mm)	Unidad	Valor
500 – 1000	Baja.	1
1000 – 2000	Moderada.	2
2000 – 3000	Moderada.	3
3000 – 7000	Alta.	4
>7000	Muy alta.	5

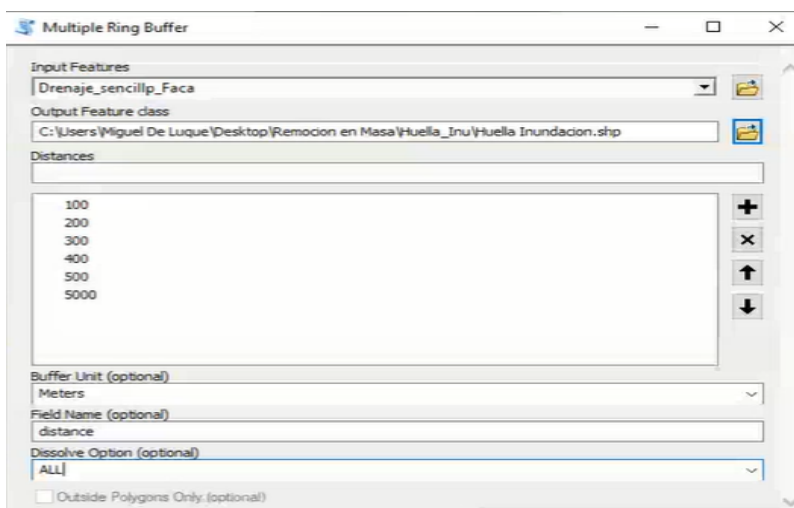
Fuente: IDEAM, 2010

- Usando la herramienta conversion tools / from raster /raster to polygon, se convirtió el archivo raster reclasificado a polígono.
- Se hizo un clip con la capa del polígono y la capa del municipio de Girardot.
- Se añadió en la tabla de atributos un nuevo campo con la calificación de la precipitación de 1 a 5.

Huella de inundación

A través del programa Arcgis se seleccionó la cartografía base a escala 1:25.000 obtenida de Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), adquiriendo las capas de drenajes de Colombia y logar sistematizar los del municipio de Girardot de la siguiente manera:

- Se añadieron las capas de drenajes dobles y sencillos para realizar un clip para cada una con el área de interés.
- Se usó la herramienta analysis tools /proximity /multiple ring buffer. Atención: si hay más de una capa, se debe hacer el buffer para cada capa.
- Se estableció en la herramienta anillos cada 100 metros hasta completar 500 y más, dejando las unidades en metros como lo muestra la imagen:



Fuente: Autores, 2020

- Se realizó un clip de la/s capas generadas por la herramienta buffer con la capa del municipio.
- Se procedió a unir las capas de huella de inundación de drenajes dobles y sencillos utilizando la herramienta geoprocessing/ union (huella de inundación doble y sencilla).

- En la nueva capa generada en la unión salió la distancia de cada drenaje y se realizó la siguiente calificación mediante este ejemplo:

FID	Shape	distance	distance_1	HUELLA_CAL
0	Polygon	100	500	5
1	Polygon	200	200	4
2	Polygon	300	500	3
3	Polygon	400	100	5
4	Polygon	500	200	4
5	Polygon	5000	0	1

Fuente: Autores, 2020

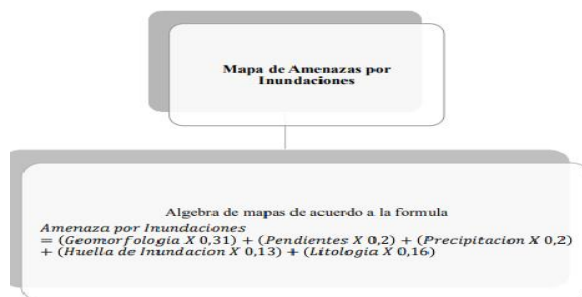
Importante: a menor distancia de drenaje mayor posibilidad de inundación y viceversa:

Ejemplo: (100 y 500) se tiene en cuenta el de menor distancia y se califica en este caso la calificación es 5.

Mapa de inundación

Al realizar las 5 variables necesarias se procede a hacer la zonificación de la siguiente manera:

- Se intersectaron las capas anteriormente obtenidas (pendientes, precipitación, geomorfología, litología y huella de inundación) mediante la herramienta geoprocessing / intersect.
- Una vez creada la capa de amenaza se creó un nuevo campo en la tabla de atributos denominado “calificación de la amenaza”.
- Se utilizó la calculadora de campos para introducir la siguiente fórmula:



Fuente: Monroy, Y & Prada, A. 2019

- Seguidamente, se creó otro campo llamado “grado de amenaza”, realizando la calificación de la siguiente manera:

Grado de amenaza	Intervalos según la calificación de la amenaza
Muy baja	0 - 1,5
Baja	1,51 - 2,5
Media	2,51 - 3,5
Alta	3,5 - 4,5
Muy alta	4,51 - 5

Fuente: Autores, 2020

Finalmente, se le aplicó una simbología apta establecer los grados de amenaza en la capa y de esta manera generar el mapa de amenaza por inundación.

Mapa de vulnerabilidad

Entendiendo que la vulnerabilidad es el grado de pérdidas o daños que pueden sufrir, ante una inundación, incendio forestal o remoción en masa, la población, los bienes y el medio ambiente (IDEAM, 2011); se adoptó un protocolo propuesto por el IDEAM del año 2011 para estimar la vulnerabilidad en el municipio de Girardot. Así pues, se establecen seis (6) vulnerabilidades a tener en cuenta:

Vulnerabilidad territorial

Referente a los cambios físicos en el suelo, las dinámicas de los asentamientos humanos y las dinámicas socioeconómicas que degradan el territorio o el paisaje, así como el medio ambiente natural o urbano, disminuyendo su nivel de protección frente a las amenazas a que están expuestos (IDEAM, 2011). Para evaluar esta vulnerabilidad se tomó como base la capa de conflictos de uso de suelo para Girardot, en la cual se añadió un campo a la tabla de atributos para contener la calificación. Esta calificación se hizo con base en una categorización y clasificación del peso que un determinado conflicto de uso haga más (5) o menos vulnerable el territorio (1), siendo para un suelo sin uso o conflictos una calificación de 1 y para un suelo con

determinados usos y sobreutilizaciones una calificación de 5. Las demás calificaciones se hicieron dependiendo del conflicto de uso de suelo que se tuviera.

Vulnerabilidad poblacional

Entendida como la vulnerabilidad de la población a partir de los tres indicadores siguientes: Ocupación, Colindancia y Dispersión (IDEAM, 2011). Dicha vulnerabilidad se realizó tomando en cuenta el tercer censo nacional agropecuario propuesto por el DANE para identificar las veredas del municipio de Girardot y su densidad poblacional. De esta manera, identificando los asentamientos humanos más densos se realizó la calificación de 1 a 5, siendo 5 los más densos y 1 los menos densos.

Vulnerabilidad de la infraestructura

Es la que hace referencia a los posibles peligros para instalaciones, edificaciones e infraestructuras que influyen en la mayor o menor gravedad potencial que puede alcanzar una inundación, incendio forestal o remoción en masa. Se interpretan a través de la presencia o no de determinados elementos tales como vías férreas, aeropuertos, helipuertos, instalaciones de comunicaciones, poliductos, líneas eléctricas y zonas de recreación, entre otras (IDEAM, 2011). Ahora bien, teniendo en cuenta la descripción, se realizó la búsqueda y localización de los elementos correspondientes a la infraestructura y se realizó un buffer múltiple tomando distancias de a 100 metros hasta llegar a 500. Esta nueva capa se unió con la del municipio de Girardot. De esta manera, la calificación propuesta fue de 1 a 5, interpretando que 5 es la mayor proximidad de la amenaza hacia la infraestructura (100 metros o menos) y 5 la mayor lejanía (500 metros o más). Nota: La distancia correspondiente a 0 son las zonas del municipio donde la amenaza no podrá generar daños a la infraestructura o sencillamente no hay, por tanto, su valoración será de 1.

Vulnerabilidad institucional

Dentro de la vulnerabilidad institucional, se tiene en cuenta la evaluación de la capacidad gubernamental para la reconstrucción post-evento (rehabilitación y restauración de áreas degradadas), analizadas a partir de la asignación de presupuesto para estos fines. De igual manera, se debe espacializar (hasta donde sea posible), el área de cobertura que sobre la región tienen los diferentes organismos de socorro (Bomberos, Defensa Civil, Policía, Ejército, Cruz Roja, etc.), así como la generación de isócronas o áreas de tiempo de desplazamiento de estos organismos a las zonas con mayor amenaza de incendios (IDEAM, 2011). Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó una localización y georreferenciación de las entidades ya descritas encargadas de atender la emergencia. Seguidamente, se hizo un buffer múltiple con distancias de a 1000 metros, interpretadas como la distancia en que oportunamente podrían actuar las entidades socorristas en una emergencia. La calificación de esta vulnerabilidad se realizó tomando como base la proximidad de estas entidades hacia el lugar de la emergencia tomando valores de 1 a 5, siendo 1000 metros o menos una valoración de 1 y de 5000 metros o más una valoración de 5.

Vulnerabilidad patrimonial

Para la realización de esta vulnerabilidad, fue necesario contar con los diferentes mapas de áreas protegidas (Parques Nacionales Naturales, Reservas Forestales Nacionales, Reservas Regionales, Departamentales y Municipales), mapas de cuencas abastecedoras de acueductos, mapas de áreas de manejo especial (Resguardos y Reservas Indígenas, Consejos Comunitarios de Comunidades Afrocolombianas, etc.) (IDEAM, 2011). Teniendo en cuenta lo anterior, se procedió a descargar de los entes oficiales la información espacial de los parques naturales y reservas forestales nacionales, pero Girardot no cubría de ellas. Sin embargo, en Girardot existe la reserva forestal Alonso Vera, para lo cual se georreferenció manualmente a partir de imágenes

satelitales y conocimiento de docentes sobre el área. Además de ello, se tomó en cuenta los lugares y establecimientos que son catalogados como patrimonio del municipio. Así pues, la calificación de 1 a 5 dada para esta vulnerabilidad se tomó en cuenta a criterio personal resaltando el valor histórico y natural de cada patrimonio evaluado. Una vez se tuvieron los patrimonios georreferenciados, se unió la capa de patrimonios con la del municipio, valorando los patrimonios con una vulnerabilidad alta y el resto del municipio como baja.

Vulnerabilidad económica

Expresada como las áreas de importancia en la producción de bienes y servicios que pudiesen ser afectadas por la incidencia de incendios de la cobertura vegetal (áreas de producción agrícola, ganadera, forestal, minera, etc.) (IDEAM, 2011). La vulnerabilidad económica se realizó a partir de la capa de coberturas de Girardot obtenida del IGAC y siguiendo el protocolo del IDEAM para calificar la vulnerabilidad económica según el tipo de cobertura



ANEXO 3. EQUIVALENCIAS DE VULNERABILIDAD ECONÓMICA Y ECOSISTÉMICA A LAS CATEGORÍAS DEL NIVEL 3 DEL SISTEMA CORINE LAND COVER PARA COLOMBIA (IDEAM, IGAC, IAVH, SINCHI, IAP, INVEMAR 2010)

COBERTURA (CLASIFICACIÓN CORINE LAND COVER -NIVEL 3-)	CÓDIGO CORINE LAND COVER	VULNERABILIDAD ECONÓMICA	CALIFICACIÓN VULNERABILIDAD ECONÓMICA	VULNERABILIDAD ECOSISTÉMICA	CALIFICACIÓN VULNERABILIDAD ECOSISTÉMICA
1.1.1. Tejido urbano continuo	111	MUY BAJA	1	MUY BAJA	1
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	112	MUY BAJA	1	BAJA	2
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	121	MUY ALTA	5	MUY BAJA	1
1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	122	ALTA	4	MUY BAJA	1
1.2.3. Zonas portuarias	123	MUY ALTA	5	MUY BAJA	1
1.2.4. Aeropuertos	124	MUY ALTA	5	MUY BAJA	1
1.2.5. Obras hidráulicas	125	ALTA	4	MUY BAJA	1
1.3.1. Zonas de extracción minera	131	MUY ALTA	5	MUY BAJA	1
1.3.2. Zonas de disposición de residuos	132	ALTA	4	MUY BAJA	1
1.4.1. Zonas verdes urbanas	141	ALTA	4	MODERADA	2
1.4.2. Instalaciones recreativa	142	ALTA	4	MODERADA	2
2.1.1. Otros cultivos transitorios	211	MUY ALTA	5	MUY BAJA	3
2.1.2. Cereales	212	MUY ALTA	5	MUY BAJA	2
2.1.3. Oleaginosas y leguminosas	213	MUY ALTA	5	MUY BAJA	2
2.1.4. Hortalizas	214	MUY ALTA	5	MUY BAJA	3
2.1.5. Tubérculos	215	MUY ALTA	5	MUY BAJA	3
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	221	MUY ALTA	5	MUY BAJA	3
2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos	222	MUY ALTA	5	MUY BAJA	3
2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos	223	MUY ALTA	5	MUY BAJA	3
2.2.4. Cultivos agroforestales	224	MUY ALTA	5	MUY BAJA	3

Carrera 10 No. 20 - 30 Bogotá D.C. PBX (571) 3527160
 Fax Sever: 3527110 3527160 Ext: 2110 - 1911 - 1912 - 1913
 Línea Nacional 018000110012 - Páscuas y Aéreo (571) 3421596
 Sede Puente Aéreo: Calle 12 No 42B - 44 Bogotá D.C. PBX: 2581070
www.ideam.gov.co



MinAmbiente
 Ministerio del Ambiente
**PROSPERIDAD
 PARA TODOS**

Disponible en el Anexo 3 correspondiente a EQUIVALENCIAS DE VULNERABILIDAD

ECONÓMICA Y ECOSISTÉMICA A LAS CATEGORÍAS DEL NIVEL 3 DEL SISTEMA CORINE LAND COVER PARA COLOMBIA (IDEAM, IGAC, IAVH, SINCHI, IAP, INVEMAR 2010)

Mapa de vulnerabilidad total

Una vez se obtuvieron las capas correspondientes a las vulnerabilidades se procedió a realizar la intersección de estas, generando una nueva capa con los atributos de todas las seis vulnerabilidades. Se agregaron 2 campos nuevos llamados “Vulnerabilidad Total” y “Grado de Vulnerabilidad”, para los cuales en el de vulnerabilidad total se hizo uso de la calculadora de campos para introducir la fórmula:

$$\text{Vulnerabilidad} = \text{V. institucional} \times (0,04) + \text{V. patrimonial} \times (0,20) + \text{V. poblacional} \times (0,31) + \text{V. territorial} \times (0,20) + \text{V. infraestructura} \times (0,06) + \text{V. económica} \times (0,18)$$

Fuente: IDEAM, 2014

Una vez se realizó la fórmula, se procedió a establecer los rangos de valores para determinar el grado de vulnerabilidad, siendo:

GRADO DE VULNERABILIDAD	RANGO
MUY BAJA	0 – 1
BAJA	1,1 – 2
MEDIA	2,1 – 3
ALTA	3,1 – 4
MUY ALTA	4,1 – 5

Fuente: Autores, 2020

Mapa de Riesgo por inundación

Una vez se obtuvieron las capas de amenaza por inundación y vulnerabilidad para el municipio de Girardot, se procedió a intersectarlas para generar la capa de riesgo por inundación del municipio de Girardot. Teniendo la capa de riesgo se crearon dos campos nuevos llamados “Riesgo” y “Grado de Riesgo”. Para el riesgo se usó la calculadora de campos en donde se multiplicó el valor de la amenaza con el de la vulnerabilidad (entendiendo que riesgo es igual a amenaza por vulnerabilidad). Posteriormente, se determinaron los rangos para establecer los grados de riesgo, los cuales se hallaron teniendo en cuenta el valor máximo y mínimo de riesgo, adoptando rangos de a 3 unidades para finalmente quedar así:

GRADO DE RIESGO	RANGO
MUY BAJO	< 3
BAJO	3,1 – 6
MEDIO	6,1 – 9
ALTO	9,1 – 12
MUY ALTO	>12

Fuente: Autores, 2020

Después de haber obtenido la capa de riesgo para todo el municipio, se procedió a cargar las capas de los barrios ubicados en la comuna 2 y los drenajes dobles (Río Magdalena y Río Bogotá), para realizar el respectivo análisis de riesgo para los barrios de esta comuna.

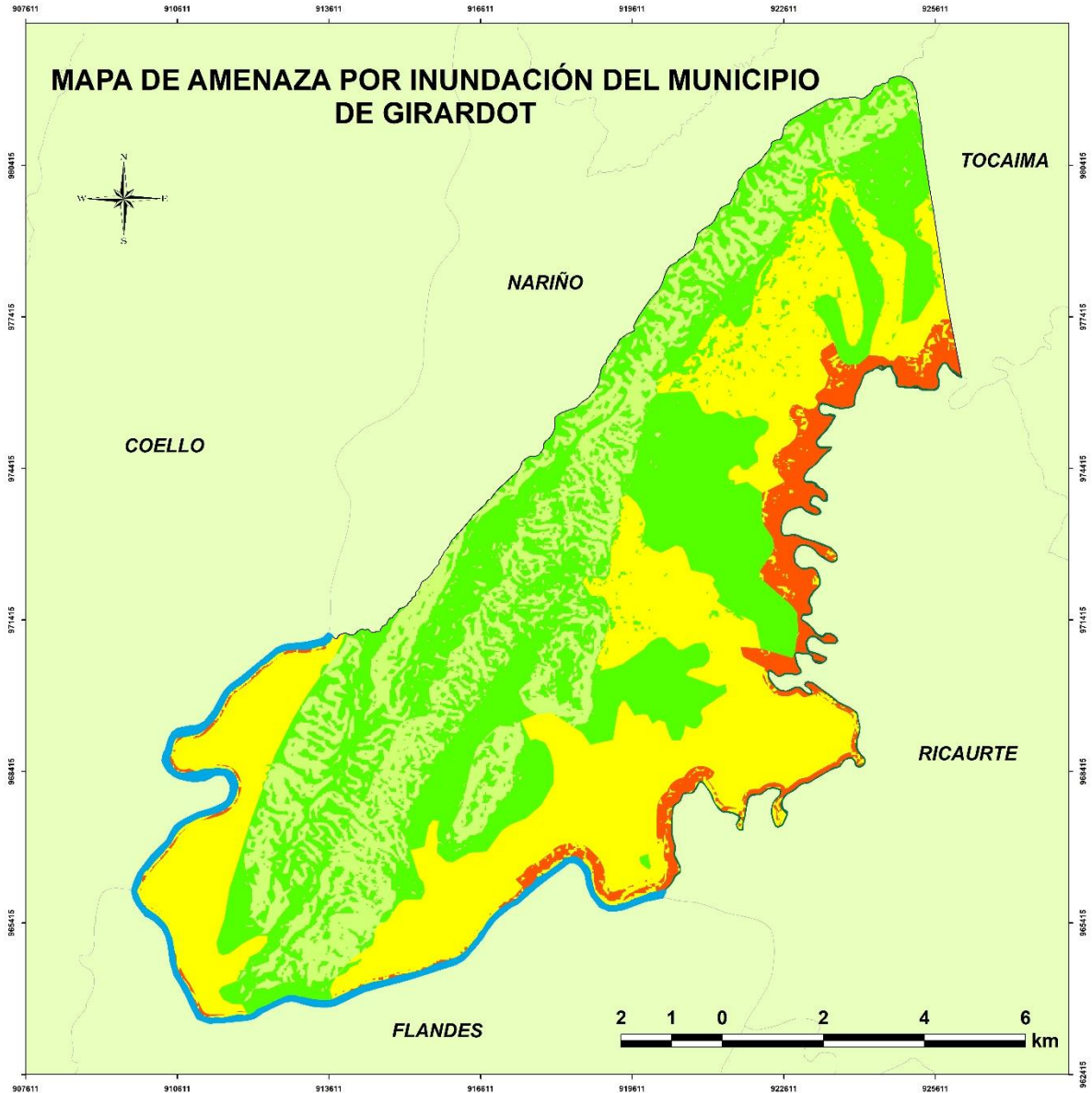
7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A partir de la metodología expuesta, se logró realizar un mapa de zonificación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de inundación. Con el fin de establecer el riesgo a inundación presente en todo el municipio de Girardot; para que a partir de este primer análisis se propongan acciones y recomendaciones para la disminución del riesgo en el municipio.

AMENAZA POR INUNDACIÓN

De acuerdo con lo publicado por la Dirección General de Prevención y atención de Desastres (DGPAD), este es el fenómeno de mayor recurrencia en Colombia, la presencia de valles

aluviales y llanuras bajas, asociada a las condiciones de precipitación facilitan la ocurrencia de inundaciones, algunas de manera lenta, que afectan grandes extensiones de terreno, y otras más rápidas asociadas a lluvias intensas en la parte alta de las cuencas con fuertes pendientes. El 12% del territorio nacional se encuentra localizado en áreas con una mayor susceptibilidad a inundarse (Banco Mundial Colombia, 2012).



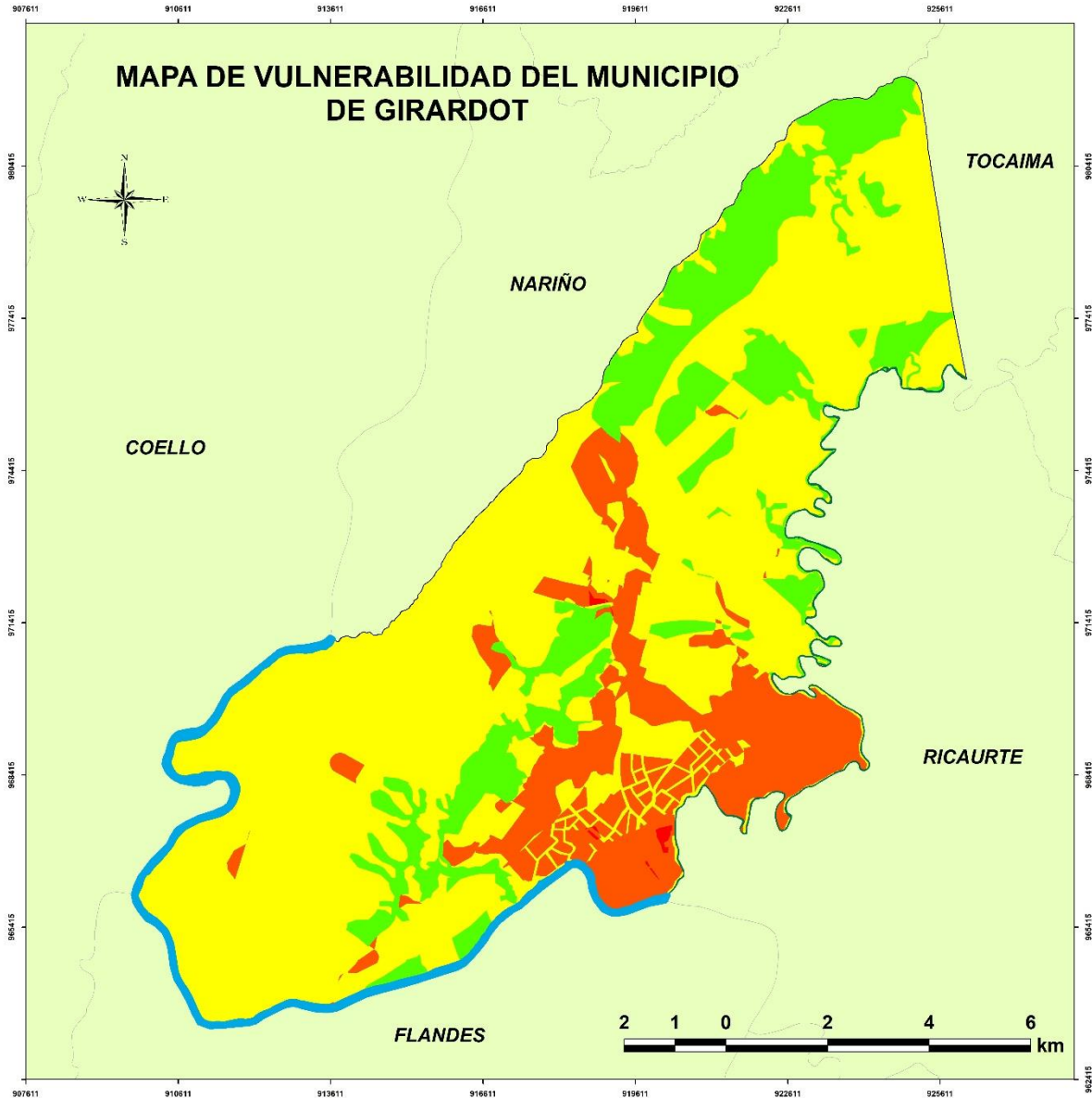
<p>UBICACIÓN DEPARTAMENTAL</p>	<p>UBICACIÓN NACIONAL</p>	<p>ESCALA 1:45.000 1 cm = 450 m</p>	<p>LEYENDA</p> <p>Grado de Amenaza</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ ALTA ■ MEDIA ■ BAJA ■ MUY BAJA <p>Ríos</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Río Bogotá ■ Río Magdalena
<p>FUENTE: IGAC / SIAC / IDEAM FECHA: 06 de octubre de 2020 ELABORARON: Michael Steven Lozano Rodríguez Daniel Humberto Cadena Martínez</p>		<p>ENTIDADES</p>	<p>DATUM</p> <p>Coordinate System: MAGNA Colombia Bogota Projection: Transverse Mercator Datum: MAGNA False Easting: 1.000.000,0000 False Northing: 1.000.000,0000 Central Meridian: -74,0775 Scale Factor: 1,0000 Latitude Of Origin: 4,5962 Units: Meter</p>

La amenaza por inundación, se encuentran entre alto y media con un porcentaje de 6.33% Y 36.37% respectivamente, debido a que allí pasan los cauces principales del municipio, los cuales son la macrocuenca del río Magdalena y la cuenca del río Bogotá, cada una de ellas abastecida por diferentes microcuencas que le aportan a sus caudales e igualmente teniendo en cuenta el tipo de geomorfología compuesta en su gran parte por planicies de inundación, abanicos aluviales y terrazas los cuales son muy propicios a este tipo de amenaza por ser zonas muy planas y también su litología lo cual indica que son suelos moderadamente y pobremente drenados lo cual indica poca retención de agua. Se presenta grado elevado de exposición a este tipo de amenaza en barrios aledaños a la cuenca del río Magdalena ubicados al sur del municipio, los cuales son: Acacias, Santa Mónica, Divino Niño, Bocas de Bogotá, Puerto Mongui, 20 de julio, 10 de mayo, Puerto Cabrera y Puerto Montero debido a las características anteriormente mencionadas.

VULNERABILIDAD

Según el IDEAM (2014), la vulnerabilidad se interpreta como la predisposición de un elemento a ser afectado, a sufrir daño y de encontrar dificultad de recuperarse; corresponde a la probabilidad de afectación física, económica, política o social que tiene una comunidad o un grupo de elementos de sufrir efectos adversos en el caso de que se presente un fenómeno peligroso de origen natural o antrópico.

Dicho esto, se puede apreciar que los resultados indican una proporción mayor en cuanto a vulnerabilidad media en el territorio de Girardot con un 65,67 %, posteriormente, vulnerabilidad baja con 18,42 %, seguida de vulnerabilidad alta con 15,78 %, y finalizando con vulnerabilidad muy alta con 0,13 %. Principalmente se aprecia vulnerabilidad media en el municipio debido a



<p>UBICACIÓN DEPARTAMENTAL</p>	<p>UBICACIÓN NACIONAL</p>	<p>ESCALA 1:45.000 1 cm = 450 m</p>	<p>LEYENDA</p> <p>Grado de Vulnerabilidad</p> <ul style="list-style-type: none"> ■ MUY ALTA ■ ALTA ■ MEDIA ■ BAJO <p>Ríos</p> <ul style="list-style-type: none"> Río Bogotá Río Magdalena
<p>FUENTE: IGAC / SIAC / IDEAM FECHA: 06 de octubre de 2020 ELABORARON: Michael Steven Lozano Rodríguez Daniel Humberto Cadena Martínez</p>		<p>ENTIDADES</p>	<p>DATUM</p> <p>Coordinate System: MAGNA Colombia Bogota Projection: Transverse Mercator Datum: MAGNA False Easting: 1.000.000,0000 False Northing: 1.000.000,0000 Central Meridian: -74,0775 Scale Factor: 1,0000 Latitude Of Origin: 4,5962 Units: Meter</p>

Fuente: Autores. 2020

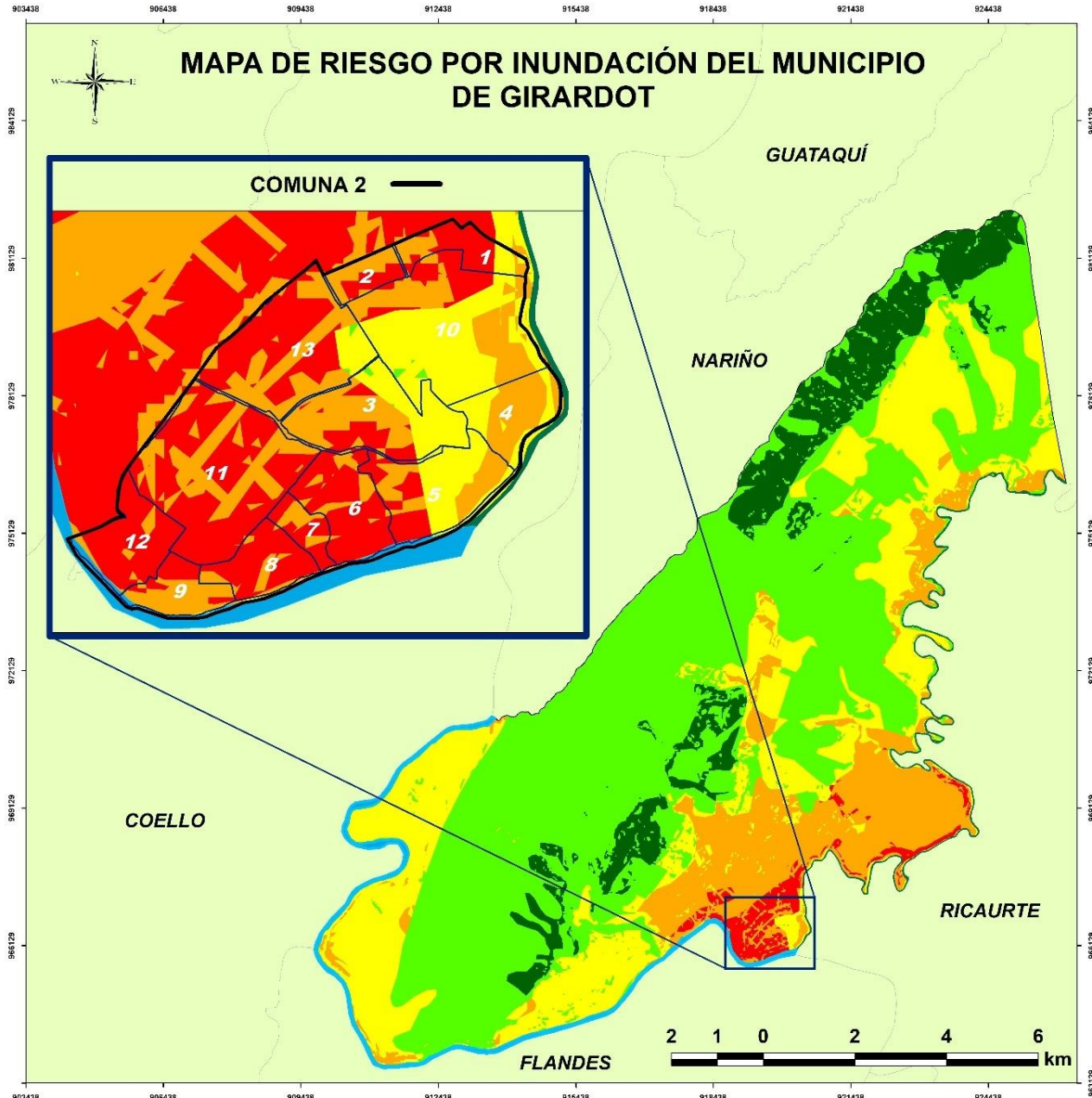
que el resultado de aplicar la fórmula para hallar la vulnerabilidad total a partir de las

vulnerabilidades parciales descritas en la metodología, se mantuvieron en el rango de 2 a 3 unidades, estableciendo que los polígonos con esos valores obtuvieran la valoración de vulnerabilidad media. De la misma forma se realizó con las demás categorías.

La razón por la cual la mayoría de los datos resultaron en el rango medio fue porque en las vulnerabilidades poblacional, patrimonial y de infraestructura obtuvieron calificaciones muy bajas con respecto a las vulnerabilidades institucional, económica y territorial; puesto que Girardot concentra sus puntos más vulnerables hacia el casco urbano que a las zonas rurales, ya que en el tejido urbano se encuentran estructuras patrimonio del municipio, las instituciones que actuarán en caso de una emergencia y la mayor densidad poblacional. Así pues, ante un fenómeno amenazante como una inundación, es importante tener en cuenta el tipo de relieve y los conflictos de uso de suelo que están en la ronda hídrica del río Magdalena, pues desde hace muchos años se han establecido comunidades en estas zonas altamente vulnerables, lo que hoy se conoce como la comuna 2. Finalmente, la vulnerabilidad baja del municipio se ubica hacia las zonas montañosas y centrales del municipio donde hay pocas o nulas probabilidades de que el río Magdalena pueda inundarlas.

RIESGO POR INUNDACIÓN

El riesgo es una variable entendida como la probabilidad de que se presente un nivel de consecuencias económicas, sociales o ambientales en un territorio particular y durante un lapso definido de tiempo, por la acción de un evento adverso de origen natural o antrópico. Se obtiene al relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos (IDEAM, 2014). Así pues, el riesgo por inundación en Girardot se concentra hacia las zonas con bajas pendientes, alledañas a los ríos y con alta densidad poblacional.



<p>UBICACIÓN DEPARTAMENTAL</p>	<p>UBICACIÓN NACIONAL</p>	ESCALA 1:50.000 1 cm = 500 m		LEYENDA GRADO DE RIESGO MUY ALTO ALTO MEDIO BAJO MUY BAJO Ríos Río Bogotá Río Magdalena DATUM Coordinate System: MAGNA Colombia Bogota Projection: Transverse Mercator Datum: MACSNA False Easting: 1.000.000,0000 False Northing: 1.000.000,0000 Central Meridian: -74,0775 Scale Factor: 1,0000 Latitude Of Origin: 4,5862 Units: Meter																									
		ENTIDADES 	COMUNA 2 <table border="1"> <thead> <tr> <th>BARRIO</th> <th>CODIGO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Acacias</td><td>1</td></tr> <tr><td>El Porvenir</td><td>2</td></tr> <tr><td>Alto de las Rosas</td><td>3</td></tr> <tr><td>Divino Niño</td><td>4</td></tr> <tr><td>Bocas de Bogotá</td><td>5</td></tr> <tr><td>Puerto Mangui</td><td>6</td></tr> <tr><td>20 de julio</td><td>7</td></tr> <tr><td>10 de mayo</td><td>8</td></tr> <tr><td>Puerto Cabrera</td><td>9</td></tr> <tr><td>Santa Mónica</td><td>10</td></tr> <tr><td>Alto de la Cruz</td><td>11</td></tr> <tr><td>Puerto Montero</td><td>12</td></tr> <tr><td>Alto del Rosario</td><td>13</td></tr> </tbody> </table>		BARRIO	CODIGO	Acacias	1	El Porvenir	2	Alto de las Rosas	3	Divino Niño	4	Bocas de Bogotá	5	Puerto Mangui	6	20 de julio	7	10 de mayo	8	Puerto Cabrera	9	Santa Mónica	10	Alto de la Cruz	11	Puerto Montero
BARRIO	CODIGO																												
Acacias	1																												
El Porvenir	2																												
Alto de las Rosas	3																												
Divino Niño	4																												
Bocas de Bogotá	5																												
Puerto Mangui	6																												
20 de julio	7																												
10 de mayo	8																												
Puerto Cabrera	9																												
Santa Mónica	10																												
Alto de la Cruz	11																												
Puerto Montero	12																												
Alto del Rosario	13																												

FUENTE: IGAC / SIAC / IDEAM / Prodesarrollo
 FECHA: 07 de octubre de 2020
 ELABORARON: Michael Steven Lozano Rodríguez
 Daniel Humberto Cadena Martínez

Es así como el nivel de riesgo alto y muy alto se concentra en la zona de la comuna 2, debido a que los barrios que están más próximos al río son los más vulnerables y se encuentran en la zona de alta amenaza de inundación. Es importante resaltar que no todos los barrios de la comuna 2 se encuentran en nivel muy alto de riesgo, como lo son: Acacias, Divino Niño, Alto de las Rosas, Alto del Rosario, Alto de la cruz, El Porvenir, Santa Mónica y Bocas de Bogotá; debido a que el tipo de relieve, en su mayoría altas cotas, disminuyen la amenaza de inundación, sin embargo, por su ubicación, conflicto de usos de suelo y densidad poblacional los hace altamente vulnerables; resultando en un nivel de riesgo de medio a alto. De esta manera, los barrios Puerto Cabrera, 10 de mayo, 20 de julio, Puerto Mongui y Puerto Montero son los barrios con mayor nivel de riesgo.

8. CONCLUSIONES

La amenaza de inundación con mayor repercusión dentro del municipio, son las zonas aleñadas a los cauces del río Bogotá y el río Magdalena, debido a que alrededor del 50% del territorio tiene un grado de amenaza medio y alto. Las zonas que presentan esta amenaza dentro del casco urbano son los barrios de la comuna 2 del municipio, que colindan con el río Magdalena y se ven afectados por las inundaciones en épocas de lluvia.

La vulnerabilidad del municipio predominó en el rango medio, ya que por la poca densidad poblacional existente en esas veredas, el casi inexistente conflicto de usos de suelo y poca o nula existencia de infraestructura en esas zonas disminuyeron significativamente los valores atribuyentes a un nivel de vulnerabilidad más alto; sin embargo, estas zonas también carecen de cobertura por parte de las instituciones de socorro, la presencia de la reserva Alonso Vera como

patrimonio ecológico y en algunas partes el tipo de relieve, adoptaron calificaciones de alta vulnerabilidad, lo cual resultó finalmente en un rango de vulnerabilidad medio.

Es importante precisar que el riesgo por inundación se concentró en la zona de la comuna 2, por las bajas cotas, la densidad poblacional de los barrios establecidos allí, el alto nivel de amenaza por la proximidad al río, los conflictos de uso de suelo y el aporte de las quebradas que desembocan en el Magdalena, hacen de los barrios Puerto Cabrera, 10 de mayo, 20 de julio, Puerto Mongui y Puerto Montero establecerlos en el nivel más alto de riesgo por inundación del municipio. Adicionalmente, los demás barrios de la comuna 2 como lo son Acacias, Divino Niño, Alto de las Rosas, Alto del Rosario, Alto de la cruz, El Porvenir, Santa Mónica y Bocas de Bogotá, disminuyen su nivel de riesgo por sus altas cotas en las que se ubican y el tipo de relieve (lomas) que presentan, ubicándolos en los rangos de riesgo medio y alto.

9. BIBLIOGRAFÍA

[1] IDEAM. (2014). AMENAZAS DE INUNDACION. Colombia. Obtenido de:

<<http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>>

[2] Prodesarrollo. (2018). Misión. Girardot, Colombia. Recuperado de:

<<http://www.prodesarrollogirardot-cundinamarca.gov.co/tema/entidad>>

[3] ISM. (2019). La Aplicación de los Sistemas de Información Geográfica en la Evaluación de Impacto Ambiental. Instituto Superior del Medio Ambiente. Madrid, España. Recuperado de: <<https://www.ismedioambiente.com/la-aplicacion-de-los-sistemas-de-informacion-geografica-en-la-evaluacion-de-impacto-ambiental/>>

[4] García, J. (2017). Uso de los GIS en la detección y gestión de catástrofes naturales.

Asociación Geoinnova. Pamplona, España. Recuperado de: <<https://geoinnova.org/blog-territorio/gestion-de-catastrofes-naturales/>>

- [⁵] IDEAM. (2011). Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000. Bogotá, D. C. 109 pag.
- [⁶] Monroy, Y & Prada, A. (2019). Zonificación de fenómenos amenazantes para la construcción de escenarios de riesgo como herramienta en la planificación territorial del municipio de Facatativá, Cundinamarca. Universidad de Cundinamarca. Facatativá, Colombia. 130 pag.
- [⁷] IDEAM. (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Bogotá, D. C.
- [⁸] IDEAM. (2014). Amenazas Inundación. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Agua. Bogotá, D.C. Recuperado de: <
<http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>>
- [⁹] UNGRD. (2014). Inundaciones. Sistema Nacional de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres. Bogotá, D.C. Recuperado de: <
<http://gestiondelriesgo.gov.co/snigrd/pagina.aspx?id=144>>
- [¹⁰] Ley 388. (1997). Artículo 10. Determinantes de los Planes de Ordenamiento Territorial. Bogotá, D.C. Recuperado de: <
http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_0388_1997.html>
- [¹¹] Ley 1523. (2012). Artículos 39,40 y 4. Integración e incorporación de la gestión del riesgo en la planificación territorial. Bogotá, D.C. Recuperado de:
<http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1523_2012.html>

[12] Decreto-Ley 019. (2012). Artículo 189. Incorporación de la gestión del riesgo en la revisión de planes de ordenamiento territorial. Bogotá, D.C. Recuperado de: <
http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/decreto_0019_2012_pr004.html>

[13] Banco Mundial Colombia. (2012). Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia. Primera Edición. Recuperado de:
<http://gestiondelriesgo.gov.co/sigpad/archivos/GESTIONDELRIESGOWEB.pdf>

10. ANEXOS

Se adjunta la carpeta llamada ‘Proyecto Trabajo de Grado’ que contiene las salidas gráficas en archivos PDF y JPEG, la geodatabase con todos los archivos Shapefile utilizados, tablas de Excel, capas con simbología guardada y documentos de extensión .mxd para la visualización de los resultados.